

# Analisa Resiko Keruntuhan Struktur *Breasting Dolphin* Akibat Bertambahnya DWT Kapal Tanker

Fatih Azmi, Rudi Walujo P., Agro Wisudawan

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 6011

**Abstrak-** Struktur *breasting dolphin* merupakan struktur yang digunakan untuk bersandar kapal pada dermaga sehingga terkena langsung oleh beban tumbukan kapal. Dalam perancangan struktur tersebut tentunya perlu diperhitungkan kapasitas maksimal kapal yang mampu bersandar. Dalam Penelitian ini dilakukan analisa *pushover* untuk mengetahui kapasitas *ultimate* struktur *breasting dolphin* sebelum dan setelah dimodifikasi. Dalam Analisa *pushover* ini struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi memiliki nilai RSR (*Reserve Strength Ratio*) minimum sebesar 1,3167. Sedangkan struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi tidak mengalami kegagalan member ketika increment beban maksimal sebesar 3.029,23 kN. Resiko struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi akibat penambahan DWT menurut DNV RP G-101 berada pada level *medium risk* untuk aspek *human safty* dan *environment* serta level *high risk* untuk aspek *business*. Sedangkan pada struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi berada pada level *low risk* untuk aspek *human safty* dan *environment* serta level *high risk* untuk aspek *business*

**Kata kunci :** *breasting dolphin*, *pushover*, RSR(*Reserve Strength Ratio*), Resiko.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan migas untuk kehidupan sehari-hari menjadi suatu hal yang bersifat pokok. Sehingga eksplorasi dan eksploitasi migas tidak hanya dilakukan di darat, melainkan telah merambah ke lepas pantai sejak tahun 1896. Maka dari itu diperlukan struktur atau bangunan yang di bangun di lepas pantai untuk mendukung proses eksplorasi atau eksploitasi bahan tambang. Salah satu bangunan lepas pantai yang beroperasi di perairan dangkal sampai menengah yakni *fixed structure*.

Struktur *breasting dolphin* merupakan struktur terpancang yang digunakan untuk menahan benturan kapal saat kapal bersandar. Pada struktur ini dilengkapi dengan *fender* untuk mereduksi sebagian energi akibat tumbukan dengan kapal. Kapasitas *ultimate* struktur dapat ditentukan dengan menggunakan analisis *pushover*.

Pendekatan ini melibatkan *dead load* dan *live load* yang dikombinasikan terhadap beban lingkungan, dengan melakukan simulasi pembebanan pada platform secara bertahap sampai terjadi kegagalan struktur. Dari hasil pendekatan tersebut rasio kekuatan cadangan (*Reserve Strength Ratio*) dapat diketahui.

Analisa resiko diperlukan untuk mengetahui peluang kegagalan dari struktur serta konsekuensi apabila terjadi kegagalan sehingga dapat dipastikan bahwa struktur tersebut dalam kondisi aman saat beroperasi. Selain itu analisa resiko juga bertujuan untuk mengetahui level resiko yang dihasilkan akibat beban yang diterima oleh struktur.

Pada oil terminal milik petrochina Jabung, kapal tanker bersandar pada struktur *breasting dolphin* 11 dan 13 serta ditambat pada struktur mooring dolphin 12 dan 16. Pada penelitian ini dibatasi dengan melakukan analisa pada *breasting dolphin* 11 saja. Dengan pertimbangan bahwa produksi oil dan gas pada terminal ini belum mencapai puncaknya sehingga memungkinkan kapal tanker yang bersandar pada struktur *breasting dolphin* terus mengalami penambahan DWT. Untuk itu sebelum adanya penambahan bracing pada struktur *breasting dolphin* perlu dilakukan analisa *pushover* terlebih dahulu untuk mengetahui berapa besar kapasitas kapal tanker yang mampu bersandar. Selanjutnya melakukan analisa *pushover* pada struktur yang telah diperkuat dengan penambahan bracing juga bertujuan untuk mengetahui kapasitas maksimum kapal yang diizinkan bersandar.

## URAIAN PENELITIAN

### A. Pengumpulan Data

Struktur yang digunakan sebagai objek penelitian adalah struktur *breasting dolphin* milik PT Petrochina Jabung Ltd. Yang beroperasi di Selat Berhala perairan Jambi, Indonesia. Data tersebut meliputi data *Jacket*, *Deck*, dan *Appurtunances* serta data lingkungan sekitar perairan.

### B. Pemodelan

Model struktur *breasting dolphin* ini dibuat berdasarkan gambar teknik dengan bantuan software SACS 5.6. Setiap member *jacket* dan

deck dimodelkan, sedangkan nongenerated deadload diaplikasikan dalam bentuk beban.

### C. Berthing Load

Dalam perhitungan *berthing load*, besarnya energi yang terserap *fender* dapat dihitung menggunakan persamaan <sup>[1]</sup>:

$$Ed = \frac{1}{2} * m * V^2 * Ce * Cm * Cs * Cc \quad \dots (1)$$

Dengan:

$Ed$  = Energi yang terserap *fender* (kN.m)

$m$  = Massa kapal (ton)

$V$  = Kecepatan kapal saat berlabuh (m/s)

$Ce$  = *Eccentricity factor*

$Cm$  = *Virtual mass factor*

$Cs$  = *Softness factor*

$Cc$  = Konfigurasi saat bersandar

### D. Analisa Pushover

Beban yang bekerja pada struktur ditambahkan secara incremental sampai kondisi ultimate, sehingga struktur mengalami keruntuhan. *Reserve Strength Ratio* (RSR) tergantung dari pembebanan struktur dan konfigurasi *bracing*.

$$RSR = \frac{P_{awal} + Total P_{increment}}{P_{awal}} \quad \dots (2)$$

Dengan :

$P_{awal}$  =  $P$  pada saat desain level

$P_{increment}$  =  $P$  pada saat analisa *pushover*

### E. Analisa Resiko

Analisa Resiko dilakukan menggunakan metode *monte carlo* dengan 100000 percobaan. Persamaan moda kegagalan yang digunakan sebagai berikut :

$$1 - \cos \left[ \frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right| \right] + \left| \frac{\sqrt{(My)^2 + (Mz)^2}}{Mp} \right| \quad \dots (3)$$

Dimana :

$P$  = *axial load* pada elemen member (Kips)

$P_n$  = *ultimate axial capacity* (Kips)

$My$  = bending moment pada elemen member arah  $y$  axis (kips-in)

$Mz$  = bending momen pada elemen member arah  $z$  axis (kips-in)

$M_p$  = *plastic bending momen* pada elemen member (kips-in)

Penilaian resiko mengacu pada DNV<sup>[2]</sup> sebagaimana gambar 1.

PoF Ranking	PoF Description	A	B	C	D	E
5	(1) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (2) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (3) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs)	YELLOW	RED	RED	RED	RED
4	(1) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (2) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (3) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs)	YELLOW	YELLOW	RED	RED	RED
3	(1) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (2) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (3) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs)	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED	RED
2	(1) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (2) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (3) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs)	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW	RED
1	(1) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (2) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs) (3) Do a level assessment, use a level assessment (e.g. no required repairs)	GREEN	GREEN	GREEN	YELLOW	YELLOW
CoF Types	Safety	No Injury	Minor Injury (Maximum 1.5 days)	Major Injury (Maximum 1.5 days)	Severe Injury	Severe Injury
	Environment	No pollution	Minor pollution (e.g. 1 day)	Major pollution (e.g. 1 day)	Severe pollution (e.g. 1 day)	Severe pollution (e.g. 1 day)
	Business	No economic or social damage	Minor economic or social damage (e.g. 1 day)	Major economic or social damage (e.g. 1 day)	Severe economic or social damage (e.g. 1 day)	Severe economic or social damage (e.g. 1 day)
CoF Ranking		A	B	C	D	E

Gambar 1 Matriks Resiko DNV RP G-101

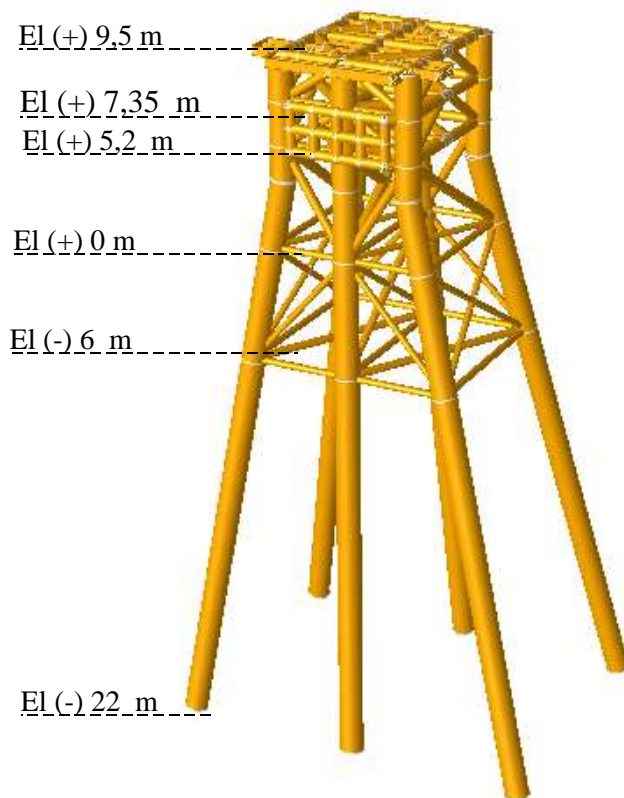
## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### A. Data Umum dan Pemodelan

- Deskripsi *Jacket* :
  - Geometri : 6 Kaki (*Battered* 1:5)
  - Diameter *Leg* : 121,9 cm
  - Tebal *Jacket Leg* : 2,1 cm
- Deskripsi *Deck* :
  - Jumlah *Deck* : 3
  - Diameter *Deck Leg* : 121,9 cm
  - Tebal *Deck Leg* : 1,8 cm
  - Elevasi *Main Deck* : Elv (+)9,5 m
  - Elevasi *Cellar Deck* : Elv (+)7,35 m
  - Elevasi *Cellar Deck* : Elev (+) 5,2 m
- Deskripsi *Appurtunances* :
  - 1 *Fender support*



Gambar 2 Model Struktur *Breasting dolphin* Sebelum Dimodifikasi

Gambar 3 Model Struktur *Breasting dolphin* Setelah Dimodifikasi

Model struktur *breasting dolphin* yang telah dibuat menggunakan software SACS perlu dilakukan validasi untuk menyesuaikan dengan struktur aslinya. Validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan model kita dengan report milik perusahaan. Dalam penelitian ini, berat struktur sebagai komponen untuk validasi model. Berikut hasil dari validasi struktur *breasting dolphin*.

Tabel 1 Hasil Validasi Struktur *Breasting dolphin*

SELFWEIGHT		SELISIH (%)
MODEL (kN)	EXISTING STRUCTURE (kN)	
2586,9301	2586,041	0,034

### B. Perhitungan *Berthing Load*

Dalam penelitian ini variasi DWT kapal tanker sebagai beban terhadap struktur *breasting dolphin*, untuk itu perlu menentukan DWT kapal tanker yang umum digunakan. Berikut merupakan variasi DWT kapal tanker beserta principal dimensionnya.

Dalam penentuan DWT kapal tersebut juga mempertimbangkan kedalaman perairan setempat, sehingga DWT maksimal yang dapat beroperasi di terminal tersebut sebesar 200.000 ton.

Tabel 2 *Principal Dimension* Kapal Tanker

DWT (ton)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Cb	Displacement (ton)
50.000	175,61	33,49	18,69	12,71	0,758	58.118,57
75.000	220,245	38,38	19,00	12,58	0,805	87.849,81
100.000	231,02	41,66	20,67	14,41	0,815	115.898,87
125.000	255,28	43,07	23,53	15,59	0,834	146.564,63
150.000	261,86	46,90	23,65	16,63	0,838	175.539,23
175.000	270,11	50,42	23,81	17,49	0,844	206.046,06
200.000	285,05	52,73	25,88	18,02	0,841	233.776,73

- Variasi Kecepatan *Berthing*

Kecepatan saat bersandar setiap kapal berbeda satu dengan yang lain, hal ini akibat pengaruh dari DWT kapal tanker. Variasi kecepatan saat bersandar dapat dibedakan menjadi 5 kondisi yakni : *easy berthing sheltered*, *difficult berthing sheltered*, *easy berthing exposed*, *good berthing exposed*, dan *difficult berthing exposed*.

Untuk itu dalam penelitian ini juga dilakukan variasi kecepatan saat kapal tanker bersandar, adapun nilai dari kecepatan tiap kondisi disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3 Variasi Kecepatan Kapal Tanker

DWT (ton)	Kondisi a (m/s)	Kondisi b (m/s)	Kondisi c (m/s)	Kondisi d (m/s)	Kondisi e (m/s)
50.000	0,060	0,125	0,196	0,252	0,300
75.000	0,050	0,100	0,150	0,208	0,242
100.000	0,039	0,083	0,126	0,171	0,201
125.000	0,028	0,069	0,108	0,156	0,175
150.000	0,027	0,066	0,105	0,143	0,171
175.000	0,025	0,062	0,099	0,136	0,165
200.000	0,028	0,062	0,095	0,131	0,158

Variasi kecepatan diatas merupakan kecepatan kapal saat bersandar pada umumnya. Beban lingkungan seperti gelombang, angin, dan arus tidak diperhitungkan.

- *Berthing Energy*

Pada *berthing energy* ( $E_N$ ), besarnya energi yang akan diserap oleh *fender* dipengaruhi langsung oleh displacement kapal dan kecepatannya, dikarenakan dalam perhitungannya menggunakan pendekatan energi kinetik serta koefisien-koefisien antara lain : *added mass coefficient* ( $C_M$ ) , *eccentricity coefficient* ( $C_E$ ) , *berth configuration coefficient* ( $C_C$ ) , dan *softness coefficient* ( $C_S$ ).

- *Berthing Energy* Kapal DWT 50.000 ton

Tabel 4 *Berthing Energy* Kapal DWT 50.000 ton

	$C_M$	$C_E$	$C_C$	$C_S$	$E_d$ (kJm)
Kondisi a	1,5	0,6	1	0,9	84,703
Kondisi b					367,635
Kondisi c					903,875
Kondisi d					1.494,161
Kondisi e					2.117,576



## - Berthing Energy Kapal DWT 75.000 ton

Tabel 5 Berthing Energy Kapal DWT 75.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,5	0,6	1	0,9	89,824
Kondisi b					359,294
Kondisi c					808,412
Kondisi d					1.554,450
Kondisi e					2.104,170

## - Berthing Energy Kapal DWT 100.000 ton

Tabel 6 Berthing Energy Kapal DWT 100.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,5	0,6	1	0,9	71,654
Kondisi b					324,540
Kondisi c					747,916
Kondisi d					1.377,539
Kondisi e					1.903,285

## - Berthing Energy Kapal DWT 125.000 ton

Tabel 7 Berthing Energy Kapal DWT 125.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,56	0,6	1	0,9	49,221
Kondisi b					298,905
Kondisi c					732,290
Kondisi d					1.527,864
Kondisi e					1.922,700

## - Berthing Energy Kapal DWT 150.000 ton

Tabel 8 Berthing Energy Kapal DWT 150.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,63	0,6	1	0,9	57,155
Kondisi b					341,519
Kondisi c					864,383
Kondisi d					1.603,244
Kondisi e					2.292,554

## - Berthing Energy Kapal DWT 175.000 ton

Tabel 9 Berthing Energy Kapal DWT 175.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,68	0,6	1	0,9	59,277
Kondisi b					364,579
Kondisi c					929,564
Kondisi d					1.754,230
Kondisi e					2.682,121

## - Berthing Energy Kapal DWT 200.000 ton

Tabel 10 Berthing Energy Kapal DWT 200.000 ton

	C <sub>M</sub>	C <sub>E</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>S</sub>	E <sub>d</sub> (kNm)
Kondisi a	1,70	0,6	1	0,9	85,751
Kondisi b					420,441
Kondisi c					987,117
Kondisi d					1.876,998
Kondisi e					2.730,458

• Gaya Reaksi *Fender*

Sebagai input beban incremental pada struktur *breasting*, gaya yang dimaksud adalah gaya reaksi *fender*. Disebabkan saat kapal mengenai *fender* berupa energi maka terjadi reaksi yang diteruskan ke struktur *breasting* *dolphin* melalui support *fender*. Pada penelitian ini jenis *fender* yang digunakan adalah buckling *fender* dengan tipe MCS cell *fender* 1700 G4 dengan performa jika dikenai energi berthing sebesar 1591 kNm maka akan terjadi reaksi sebesar 2131 kN serta menggunakan *fender* MCS cell *fender* 2000 G4 dengan performa *fender* jika dikenai energi berthing sebesar 2591 kNm maka terjadi reaksi sebesar 2941 kN

Tabel 11 Reaksi *Fender*

DWT Kapal (ton)	Reaksi <i>fender</i> Kondisi a (kN)	Reaksi <i>fender</i> Kondisi b (kN)	Reaksi <i>fender</i> Kondisi c (kN)	Reaksi <i>fender</i> Kondisi d (kN)	Reaksi <i>fender</i> Kondisi e (kN)
50.000	892,551	1960,520	2090,511	2003,140	2761,599
75.000	808,228	1900,852	2124,607	1979,699	2779,245
100.000	878,232	2037,449	2083,692	2237,550	2826,301
125.000	731,860	1811,350	2131,000	2084,118	2764,540
150.000	668,220	1917,900	2109,690	2131,000	2764,540
175.000	671,402	1960,520	2088,380	2846,888	2891,003
200.000	859,140	2024,450	2088,380	2782,186	3029,230

C. Analisa *Pushover*

Analisa statis non-linear *pushover* dilakukan dengan menggunakan standart code API<sup>[3]</sup>. Pada perhitungan *pushover* ini, *live load* dan *dead load* sebagai beban yang bersifat konstan. Sedangkan beban akibat reaksi *fender* sebagai beban lateral yang dinaikkan secara bertahap. RSR (*Reserve Strength Ratio*) dan RS (*System Redundancy*) digunakan untuk mengukur margin keamanan terhadap keruntuhan total. Berikut ini adalah RSR dan SR struktur *breasting dolphin* sebelum dan setelah dimodifikasi :

Tabel 12 RSR dan SR Analisa *Pushover*

Struktur <i>Breasting</i> <i>Dolphin</i>	Base shear (kN)			RSR		SR
	kondisi awal	kondisi 1 member gagal	kondisi collapse	RSR min	RSR max	
Sebelum Dimodifikasi	2032,69	2676,48	3306,86	1,3167	1,6268	0,3101

Pada struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi terjadi kegagalan struktur dengan RSR terkecil sebesar 1,3167 pada pembebanan kapal dengan DWT 50.000 ton kondisi e yakni saat kapal berlabuh dengan kecepatan 0,3 m/s. Kondisi ini masih dalam batas aman karena dalam API RP 2A dikategorikan sebagai A-3 yakni low consequence disebutkan bahwa struktur unmanned RSR  $\geq 0,8$ .

Sedangkan pada struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi tidak terjadi kegagalan member sama sekali bahkan pada pembebanan kapal dengan DWT 200.0000 ton. Dapat dikatakan bahwa struktur tersebut *overdesign*, sehingga perlu dilakukan analisa optimasi dari design modifikasi struktur *breasting dolphin* tersebut. Akan tetapi pada penelitian ini dilakukan rekomendasi design modifikasi struktur *breasting dolphin* tanpa mempertimbangkan analisa optimasi, yang dapat dilihat pada sub bab F.

#### D. Keandalan

Pada pertimbangan design struktur *breasting dolphin*, analisa keandalan diperlukan untuk mengetahui kondisi struktur saat terkena beban kapal yang bersandar. Adapun pada analisa ini diwalikan oleh member-member tertentu, yakni member yang mengalami kegagalan saat dilakukan analisa pushover.

Besarnya nilai Coefficient of Varian (COV) diasumsikan 0,3 untuk design level sedangkan 0,15 untuk kondisi ultimate. Berikut merupakan keandalan dari member-member yang mengalami kegagalan :

Tabel 13 Keandalan Struktur *Breasting dolphin* Sebelum Dimodifikasi

Member	Grop ID	PoF	K
0046-0159	VDR	0,0025	0,9975
0156-0045	VDR	0,0593	0,9407
0023-0029	DL2	0,2851	0,7149
0019-0025	DL3	0,3655	0,6345
0020-0026	DL4	0,4999	0,5001
0021-0027	DL5	0,4347	0,5653
0022-0028	DL6	0,3687	0,6313

Keandalan struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi pada penelitian ini memilih keandalan terkecil pada member deckleg yang mengalami kegagalan. Yakni member 0020-0026 dengan keandalan sebesar 0,5001.

Tabel 14 Keandalan Struktur *Breasting dolphin* Setelah Dimodifikasi

Member	Grop ID	PoF	K
0046-0159	VDR	0,169	0,831
0024-0030	DL1	0,000	1,000
0023-0029	DL2	0,004	0,996
0019-0025	DL3	0,000	1,000
0020-0026	DL4	0,000	1,000
0021-0027	DL5	0,000	1,000
0022-0028	DL6	0,006	0,994

Keandalan struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi pada penelitian ini memilih keandalan terkecil pada member deckleg yang mengalami kegagalan. Yakni member 0022-0028 dengan keandalan sebesar 0,004.

#### E. Penilaian Resiko

Penilaian risiko menggunakan codes DNV RP G-101 ini dilakukan dengan mempertimbangkan dua hal yaitu *probability of failure* (peluang kegagalan) dan *consequence of failure* (konsekuensi kegagalan). Untuk peluang kegagalan, digunakan nilai dari hasil analisis keandalan yang telah dilakukan pada subbab sebelumnya, yakni sebesar 0,6563. Sehingga dari nilai tersebut dapat dikategorikan bahwa struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi sebagai berikut :

Tabel 15 Peluang Kegagalan Menurut DNV

Cat.	Annual failure probability	
	Quantitative	Qualitative
5	$> 10^{-2}$	Failure expected
4	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	High
3	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Medium
2	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Low
1	$< 10^{-5}$	Negligible

Dari tabel 15 diskripsi peluang kegagalan berada pada kategori 5 untuk struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi, yakni kegagalan terjadi berkali-kali dalam satu tahun. Sedangkan untuk strukture *breasting dolphin* setelah dimodifikasi berda pada kategori 3(medium), yakni memungkinan terjadi kegagalan saat operasi berlangsung. Selain nilai kuantitatif dari

peluang kegagalan, konsekuensi kegagalan juga perlu dipertimbangkan. Dalam penelitian ini, konsekuensi kegagalan berdasarkan DNV RP G-101 dibagi menjadi tiga aspek. Ketiga aspek tersebut adalah keselamatan manusia (*human safety*), dampak lingkungan(*environment*) dan kerugian ekonomi (*business*) seperti yang telah ditampilkan pada tabel 16 :

Tabel 16 Penilaian Konsekuensi Menurut DNV

Rank	CoF Human Safety	CoF Environment	CoF Business
A	Insignificant	Insignificant	Insignificant
B	Minor injury	Minor effect	Minor damage
C	Major injury	Local effect	Local damage
D	Single fatality	Major effect	Major damage
E	Multiple fatality	Massive effect	Massive damage

Dari masing-masing penilaian konsekuensi pada tiap aspek maka dapat disimpulkan berupa matriks resiko struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasidibawah ini :

Tabel 17 Matriks Resiko Human Safety

Human Safety	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Tabel 18 Matriks Resiko Environment

Environment	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Tabel 19 Matriks Resiko Business

Business	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Dari hasil matriks risiko kapal dengan DWT 50.000 (kondisi e), 75.000 (kondisi e), 100.000 (kondisi d), 125.000 (kondisi c), 150.000 (kondisi c), 175.000 (kondisi c), dan 200.000 (kondisi c) *human safety* dan *environment* berada di tingkat resiko menengah sedangkan *business* pada resiko tinggi. Memang dalam kenyataan struktur ini telah dilakukan modifikasi sehingga dapat meminimalisir resiko.

Berikut merupakan matriks resiko untuk struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi :

Tabel 20 Matriks Resiko Human Safety

Human Safety	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Tabel 21 Matriks Resiko Environment

Human Safety	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Tabel 22 Matriks Resiko *Business*

Human Safety	CoF Scale				
PoF Rank	A	B	C	D	E
5					
4					
3					
2					
1					

Pada struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi resiko untuk kapal DWT 200.00 (kondisi e) aspek *human safety* dan *environment* berada pada level *low risk*. Sedangkan aspek *business* berada pada level *high risk*.

#### F. Rekomendasi Design

Dalam analisa pushover disebutkan bahwa struktur *breasting dolphin* yang telah dimodifikasi mengalami *overdesign* sehingga dalam segi ekonomi perlu adanya pertimbangan ulang dalam design struktur tersebut. Untuk itu penulis disini memberikan rekomendasi design, akan tetapi rekomendasi ini tidak memperhitungkan analisa optimasi yang seharusnya. Berikut merupakan gambar rekomendasi design tanpa mempertimbangkan analisa optimasi.



Gambar 4 Rekomendasi Desain

Dengan mensubstitusi x-brace menjadi k-brace serta menghilangkan horizontal brace pada elevasi 0 m dan -6 m. Ketika dilakukan analisa pushover

dengan pembebanan yang sama struktur ini mengalami kegagalan member saat beban kapal tanker DWT 200.000 ton kondisi e. Dikarenakan faktor keadalaman perairan setempat, kapal dengan DWT 200.000 ton menjadi beban maksimum yang dapat diberikan. Sehingga dapat disimpulkan design ini mampu bertahan serta tidak terjadi *overdesign*.

#### KESIMPULAN

1. Besar *impact load* kapal tanker yang bersandar sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi adalah 2761,60 kN. Sedangkan struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi tidak mengalami kegagalan member ketika dikenai *impact load* maksimum sebesar 3.029,23 kN .
2. Dari penilaian resiko dengan menghitung peluang kegagalan serta konsekuensi kegagalan, tingkat resiko struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi berada pada level *medium risk* untuk aspek *human safety* dan *environment* serta level *high risk* untuk aspek *business*. Sedangkan struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi berada pada level *low risk* untuk aspek *human safety* dan *environment* serta level *high risk* untuk aspek *business*.
3. Besar DWT kapal tanker yang masih diperbolehkan untuk bersandar pada struktur *breasting dolphin* sebelum dimodifikasi yakni 50.000 ton kecepatan 0,3 m/s, 75.000 ton kecepatan 0,424 m/s, 100.000 ton kecepatan 0,171 m/s, 125.000 ton kecepatan 0,108 m/s, 150.000 ton kecepatan 0,105 m/s, 175.000 ton 0,099 m/s, dan 200.000 ton kecepatan 0,095 m/s. Sedangkan pada struktur *breasting dolphin* setelah dimodifikasi kapal tanker dengan DWT 200.000 ton dan kecepatan 0,158 m/s aman untuk bersandar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] PIANC(2002). *Guidelines For The Design Of Fender System*. Brussels: Association Internationale De Navigation.
- [2] DNV (2010). *Risk Based Inspection of Offshore Topside Static Mechanical Equipment*. Hovik : Det Norske Veritas
- [3] API (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing dan Construction FIxed Offshore Platform - Working Stress Design*. (2007). Washington, DC : American Petroleum Institute.